

УДК 621.3

В.Ф. Харченко, О.А. Якунін, В.Г. Воропай

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків*

## РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА ПЛАНУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ

З підвищенням вартості носіїв енергії, а в наслідок і електроенергії підвищується увага до забезпечення її економного використання, тобто підвищення ефективності використання та забезпечення відповідного режиму роботи освітлювальних установок. В статті приведено етапи створення стенду дослідження освітлювальних комплектів «розрядна лампа високого тиску – пускорегулюючий апарат», приведена схема стенду та принципіальні схеми включення ламп, також описано серії експериментів, та приведено план проведення експерименту в часі.

**Ключові слова:** розрядна лампа, високий тиск, стенд, експеримент, планування.

### Постановка проблеми

В останній час підвищилась увага до економії електроенергії у всіх сферах її використання. Враховуючи, що в освітлювальних мережах витрачається близько 15 % електроенергії, економія в цій сфері може дати значний зиск.

Розрядні лампи високого тиску (РЛВТ) є одними з найпоширеніших ламп, завдяки високій питомій віддачі (люмен/ват). Вони використовуються в вуличному освітленні, при освітленні територій підприємств, а також у сільському господарстві, тому забезпечення економії електроенергії в освітлювальних установках є важливим завданням. РЛВТ експлуатуються у комплекті з пускорегулюючим апаратом (ПРА).

При виборі необхідного обладнання піднімаються питання електромагнітної сумісності, економії та ефективності використання електроенергії. Тому необхідно якнайкраще дослідити процеси, що проходять в комплексах «РЛВТ – ПРА». Це можна забезпечити проведенням відповідних експериментів з використанням новітніх вимірювальних приладів, наприклад, таких як електронні осцилографи.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Схожа схема дослідження представлена в [1], вона була взята за відправну точку. Враховуючи [2; 3; 4; 5; 6] та особливості нашого випадку було розроблено план експерименту приведений нижче. Плануванню експериментів присвячено багато ґрунтовних праць [7; 8], а також ряд досліджень. Специфіка роботи РЛ вимагає врахування деяких особливостей [10], що особливо важливо для РЛВТ [10; 11]. При розробці стенду та плануванні експериментів слід спиратись на фундаментальні

праці по світлотехніці [2; 3; 4; 5; 6] та дослідницькі праці [10; 11]. Хоча подібні до даної роботи праці мали місце [1], проте в них використовувались морально застарілі прилади та лучові осцилографи, що мають ряд недоліків. В цій роботі пропонується використовувати сучасний електронний осцилограф, що дозволяє проводити запис даних в реальному часі. Аналізу режиму запалювання та перехідних режимів роботи лампи до цього не приділяли значну увагу, тому задача даного дослідження є актуальною, а отримані результати можуть принести як теоретичний так і економічний зиск, пов'язаний з підвищенням надійності ламп.

**Мета статті.** Метою розробки фізичного експериментального стенду та проведеного планування експериментів було забезпечення проведення таких вимірів, щоб отримати точні та багатопланові дані, що характеризують досліджуваний комплект «РЛВТ-ПРА».

**Актуальність.** Досліджуваний стенд обладнаний стрілочними приладами для контролю діючих значень струму, напруг та активної потужності. Вимір миттєвих значень характерних напруг проводиться електронним осцилографом «Автоскоп - 3», що вимірює дані в режимі реального часу. Такий прилад забезпечує високий рівень точності й надає можливість проведення різнобічного дослідження процесів в РЛВТ, що особливо важливо, в режимі запалювання, що є актуальним.

### Виклад основного матеріалу

Розроблено установку (рис. 1), що складається з лабораторного автотрансформатора (ЛАТРу - кероване джерело живлення) лампи (ДРЛ чи ДНаТ) та відповідного набору ПРА. Особливістю ламп типу ДНаТ є необхідність для їх запалювання високовольтного імпульсу, використовуються імпульсні запалювальні пристрої (ІЗП). В даній

статті розглядаються комплекти «ДРЛ - Дросель» та «ДНАТ – ІЗП - Дросель». В схемі, зображеній на рис. 1. встановлено три вольтметри, що вимірюють

напругу на клеммах ЛАТРу та падіння напруги на лампі й на ПРА.

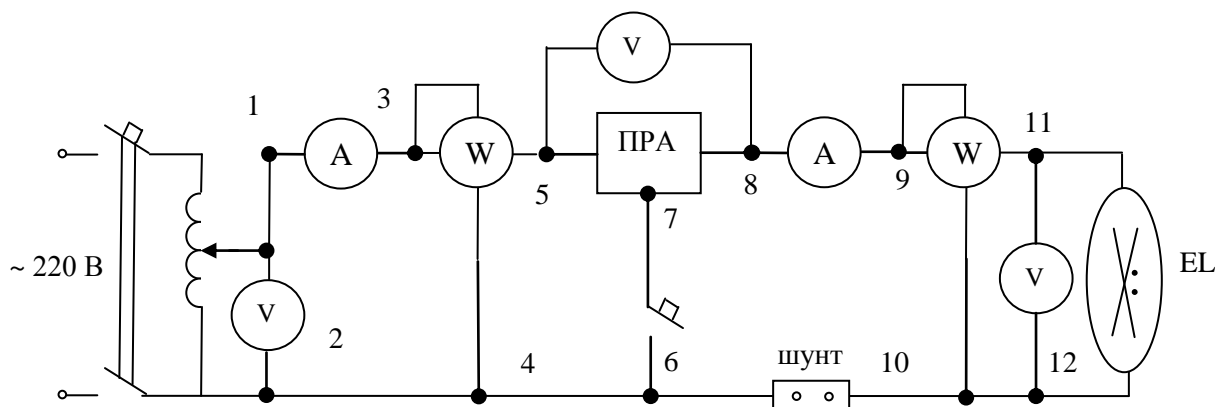


Рис. 1. Загальна електрична принципіальна схема стенду досліджень характеристик ламп  
Тут V – вольтметр, A – амперметр, W - ватметр, EL - РЛВД.

Електронний осцилограф підключається до точок 6,12, 11 та 1. Він вимірює миттєві значення  $U_l$ ,  $U_s$ ,  $U_{ш}$ .

Момент виходу лампи на сталий режим, визначається за значенням напруги на лампі і струму в ланцюзі, а також за потужністю лампи. Сталим вважаємо режим, коли протягом трьох періодів миттєве амплітудне значення досліджуваної величини змінюється не більше ніж на 2 %.

У комплекті «лампа ДРЛ-ПРА», в якості ПРА використовується дросель, а у комплекті «лампа ДНАТ-ПРА» ПРА складається з двох елементів ІЗУ і дроселю. Короткочасність впливу ІЗП дозволяє в

першому наближенні розглядати лише комплект «лампа ДНАТ – дросель».

Експерименти – дослідження поведінки комплектів «ДРЛ - дросель» та «ДНАТ - дросель». ІЗУ не враховуємо так як його дія короткочасна, а можливий вплив на прилади імпульс в 5 кВ), може зашкодити електронному осцилографу, при записі характерних напруг у схемі з лампою ДНАТ осцилограф підключався після включення лампи й вводився в дію на 30 секунді її роботи).

Таблиця 1 – Встановлені в стенді вимірювальні прилади

<b>1</b> <i>Дійсні значення струму напруги і активну потужність вимірюємо стрілочними приладами</i>		
1.1	Амперметр Э59	Э59 Характеристики: клас точності – 0,5 ; випуск – 1971; Згідно до ГОСТ 8711-60; 45-55-1500 Гц; 5 А R=0.0005 Ом; L=0.0005 мГн .
1.2	Вольтметр № 1 та 2 – АМВ	Характеристики: клас точності 0,5; 300В – 20000 Ом; ГОСТ1845-52; випуск 1954 г
1.4	Вольтметр 3	JE 464623/а точність 0.2
1.5	Ватметр № 1 та 2 Д569	Характеристики: 45-65-500 Гц; клас точності – 0,5 ; 5 А : R=0.004 Ом; L=0.005 мГн ; ГОСТ 8711-60.
2	<i>Миттєві значення падіння напруг на лампі та на шунті (пропорційного струму в контурі) і напругу живлення схеми вимірюємо цифровим осцилографом</i>	
2	USB_AUTOSKOPE3	Осцилограф Міряє миттєві значення $U_l$ , $U_s$ , $U_{ш}$

Таблиця 2 – Елементи фізичної моделі і їх параметри

№	Прилади	Схема с ДРЛ	Схема с ДнаТ
		Тип/назва/фірма/ точність/рік випуску/повірка/ параметри	Тип/назва/фірма/ точність/рік випуску/повірка/ параметри
<b>1</b>	<b>Основні елементи схеми</b>		
1.1	Лампа	„ДРЛ-250 HID – Lamp High pressure mercuri vapor lamp (Ртутна лампа високого тиску)  HQL(MBF-U) 250WE40 OSRAM  E40 Base P=250 Вт, I <sub>H</sub> =2.3 А, U <sub>H</sub> =113 В	«ДнаТ-250» HID – Lamp High pressure sodium lamp (Натрієва лампа високого тиску)  Type LU250/T/40 Lukalox  E40 Base P=250 Вт I <sub>H</sub> =2,8 А U <sub>H</sub> =113 В
1.2	Дросель	ИИ250Н37-100ХЛ2 ТУ 16-535.908.-82 I=2,15 А t <sub>w</sub> =105 °C t=55 °C 220/3 50 Гц λ=0.53 АВт м-у 1988  L=0,156 Гн R <sub>L</sub> =3,6 Ом	NaHJ 250 VOSSLOV SCHWABE Ref No529087 300 W/300 A/  λ=0.42 I*130 Δ180 EN61347/60923  L=0,172 Гн R <sub>L</sub> =4,8 Ом
1.3	Додаткові дроселі	L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>	0,143 Гн 0,043 Гн
1.4	ИЗУ	нема	«(VS) Vossloh schabe ingitor z400m»  VS-Power-Ingitor Ref.No1477007 220-240/50-60 Hz for lamps HS70(DE)-400 W HI35-400W Not for C-Hi Lamps I <sub>Bmax</sub> =5 А  Максимальне значення імпульсу 5кВ t <sub>c</sub> =105 °C  Для ламп 80-400 Вт L = 8 мГн R = 0 Ом
1.5	Шунт	5 А, 150мВ, точність 0,5	5 А 150 мВ
1.6	ЛАТР	Характеристики: I <sub>д</sub> =9 А, P=2 кВт.	

### Планування серій фізичних експериментів

Виміряні значення  $L_{\text{др}}^{\text{ДРЛ}}$ ,  $L_{\text{др}}^{\text{ДНАТ}}$ ,  $R_{\text{др}}^{\text{ДРЛ}}$  и  $R_{\text{др}}^{\text{ДНАТ}}$ , а також значення  $L_{\text{изу}}^{\text{ДНАТ}}$  та  $R_{\text{изу}}^{\text{ДНАТ}}$ , та величини додаткових дроселів ( $L_3, L_4$ ) зведені до таблиці 3.

Розроблені комбінації значень  $L_{\text{др}}$  в серіях експериментів приведено в табл. 4.

Заплановано проведення серій експериментів з 2 по п. 3 урахуванням часових обмежень  $n = 5$  для ДРЛ і серій 2-5 для комплексу «лампа ДНАТ – ПРА»). Аналогічно табл. 4. та 5. планується проведення інших серій експериментів.

У часі планується поводити всі експерименти згідно таблиць 5 – 6.

Слід звернути увагу, що в схемах з ДНАТ додатково з'являється індуктивність ІЗП – 0,008 Гн.

З урахуванням максимального допустимого відхилення напруги на лампі що складає 5 %, отримані крайні точки значення напруги 209 В – 95 %, 231 – 105 %, де відповідно 220 В – 100 %

При плануванні експериментів (табл.5) враховано час необхідний для зниження температури лампи, й введено перерву між серіями експериментів тривалістю 15 хв.

Оптимальним бачимо проведення одній серії експерименту в день.

Таблиця 3 – Значення індуктивностей та опорів

Величина	Значення	Величина	Значення
Індуктивності		Активні опори	
$L_1 = L_{\text{др}}^{\text{ДРЛ}}$	0,156 Гн	$R_1 = R_{\text{др}}^{\text{ДРЛ}}$	4.8 Ом
$L_2 = L_{\text{др}}^{\text{ДРЛ}}$	0,172 Гн	$R_2 = R_{\text{др}}^{\text{ДНАТ}}$	4.6 Ом
$L_3$	0,143 Гн	$R_3$	Ом
$L_4$	0,043 Гн	$R_4$	Ом
$L_5 = L_{\text{изу}}^{\text{ДНАТ}}$	0,08 Гн	$R_5 = R_{\text{изу}}^{\text{ДНАТ}}$	0,9 Ом

Таблиця 4 – Значення  $L_{\text{др}}$  в серіях експериментів

Серії	№ серії	Величина $L_{\text{др}}$
ОСНОВНІ	1	$L_{\text{др}} = L_1 = 0,156 \text{ Гн}$
	2	$L_{\text{др}} = L_2 = 0,172 \text{ Гн}$
	3	$L_{\text{др}} = L_3 + L_4 = 0,140 + 0,043 = 0,183 \text{ Гн}$
	4	$L_{\text{др}} = L_3 + L_4 = 0,156 + 0,043 = 0,199 \text{ Гн}$
	5	$L_{\text{др}} = L_3 + L_4 = 0,172 + 0,043 = 0,215 \text{ Гн}$
ДОДАТКОВІ	6	$L_{\text{др}} = L_1 + (L_3 + L_4)/2 = 0,156 + (0,140 + 0,043)/2 = 0,2475 \text{ Гн}$
	7	$L_{\text{др}} = L_2 + (L_3 + L_4)/2 = 0,172 + (0,140 + 0,043)/2 = 0,2635 \text{ Гн}$
	8	$L_{\text{др}} = L_3 + (L_1 + L_4)/2 = 0,140 + (0,156 + 0,043)/2 = 0,2395 \text{ Гн}$
	9	$L_{\text{др}} = L_2 + (L_1 + L_4)/2 = 0,172 + (0,156 + 0,043)/2 = 0,2715 \text{ Гн}$
	10	$L_{\text{др}} = L_1 + (L_2 + L_4)/2 = 0,156 + (0,172 + 0,043)/2 = 0,2635 \text{ Гн}$

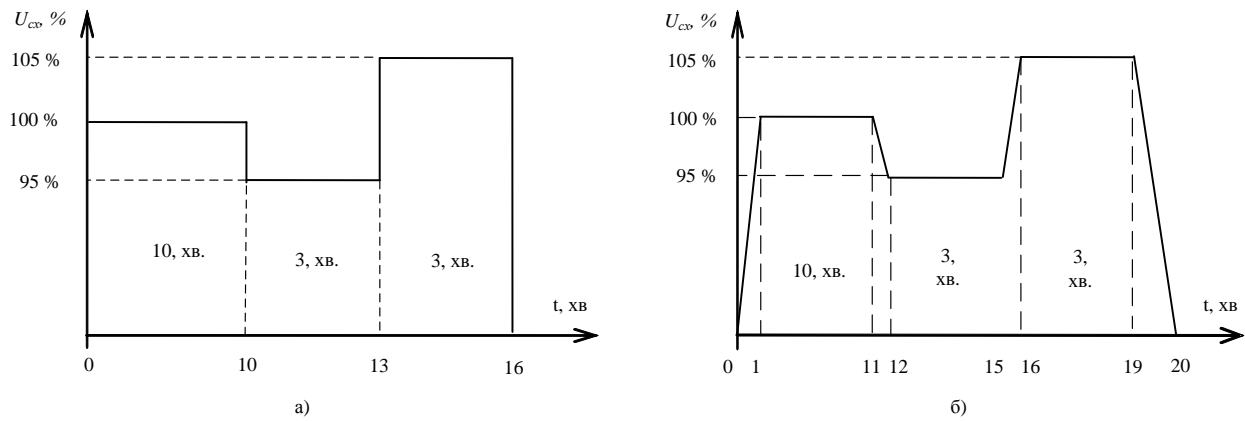


Рис. 2 Характер зміни напруги живлення комплекту, при  $U_{сх}=220$  В (100%), характер  $A^0$  и  $B^0$

Де  $U_{сх}$  - напруга схеми (В),  $t$  - час (хв.)

а) за характером зміни графіку  $A^0$  (різка зміна режиму – значення  $U_{сх}$ )

б), за характером зміни графіку  $B^0$  (плавна зміна режиму – значення  $U_{сх}$ )

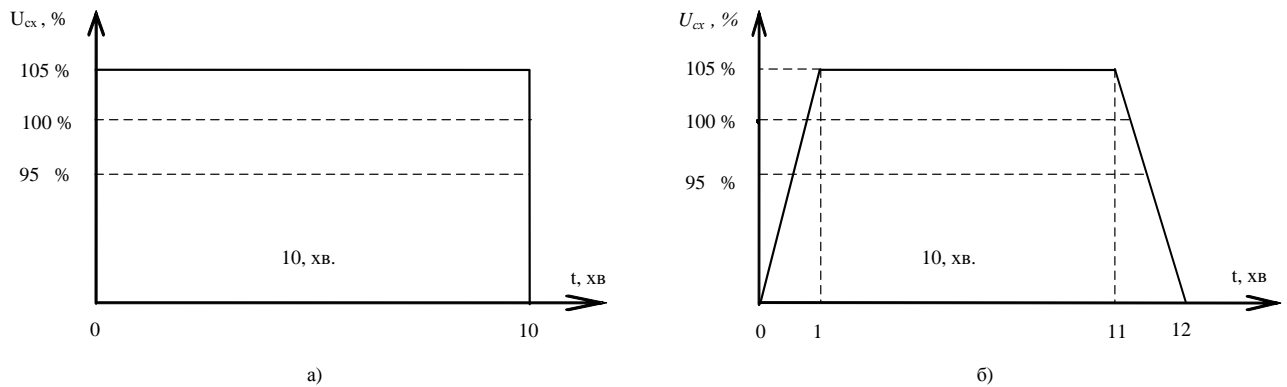


Рис. 3 Характер зміни напруги живлення комплекту, при  $U_{сх}=220$  В (100%), характер  $A^1$  и  $B^1$

а) за характером зміни графіку  $A^1$  (різка зміна режиму – значення  $U_{сх}$ ); б), за характером зміни

графіку  $B^1$  (плавна зміна режиму – значення  $U_{сх}$ ), де  $U_{сх}$  - напруга схеми (В),  $t$  - час (хв.)

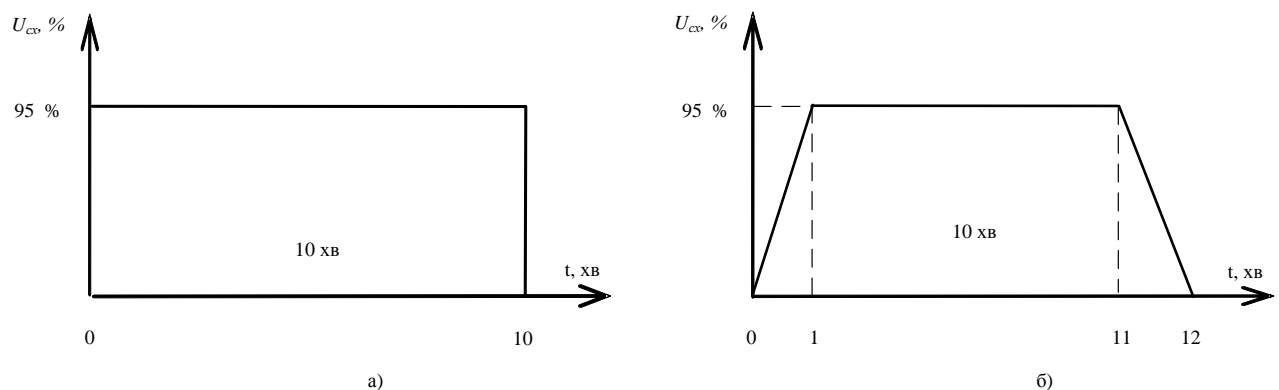


Рис. 4 Характер зміни напруги живлення комплекту, при  $U_{сх}=220$  В (100%), характер  $A^2$  и  $B^2$

а) за характером зміни графіку  $A^2$  (різка зміна режиму – значення  $U_{сх}$ ); б), за характером зміни

графіку  $B^2$  (плавна зміна режиму – значення  $U_{сх}$ ), де  $U_{сх}$  - напруга схеми (В),  $t$  - час (хв.).

Таблиця 4 – Перша серія експериментів

№ серії	Напруга першої ступені експерименту, $U_{cx}$ , В (%)	Характер зміни $U_{cx}$	№ експерименту	Вимірювані величини	Прибл. час що витрача-ється на етап, хвилини
1	~ 220В (т.е. 100%)	$A^0$	1.1	$t$	16
				$U_{cx}$	
				$U_{\lambda}$	
				$I$	
		ПЕРЕРВА <sup>1</sup>			
	$B^0$	1.2	$t$	20	
			$U_{cx}$		
			$U_{\lambda}$		
			$I$		
	ПЕРЕРВА				15
	231В (т.е. 105%)	$A^0$	1.3	...	10
		ПЕРЕРВА			15
		$B^1$	1.4	...	12
	ПЕРЕРВА				15
	209В (т.е. 95%)	$A^2$	1.5	...	10
		ПЕРЕРВА			15
		$B^2$	1.6	...	12

Таблиця 8 – План проведення експериментів в часі

Індекс експерименту	Характер зміни $U_{cx}$	Протяжність, хв.	В часі
1.1	$A0$	16	9 _ 9-16
			Пауза 9-16 _ 9-35
1.2	$B0$	20	9-35 _ 10-55
			Пауза 10-50 _ 11-05
1.3	$A1$	10	10-40 _ 10-50
Перерва			10-50 _ 11-30
1.4	$A2$	10	11-30 _ 11_40
			Пауза 11-40 _ 11-55
1.5	$B1$	12	11-55 _ 12-10
			Пауза 12-10 _ 12-25
1.6	$B2$	12	12-25 _ 12-40
Виключення рубильників. Збереження даних, резервне копіювання. Відключення щупів USB осцилографа.			

*Послідовність експерименту з лампою типу ДРЛ-250:*

1) Перевірка правильності зібраної схеми, підключення електронного осцилографа (3 точки і загальний 0, тобто «0» т. 12, для вимірювання напруги на лампі т. 11, падіння напруги на шунті т.10, і зовнішня напруга т.1).

2) Встановити лабораторним автотрансформатором напругу  $U_{CX}$  на рівні номінальної напруги лампи  $U_n = 220$  В (за  $P_{V1}$ ).

2) Запис часу початку експерименту. Подається напруга на схему включенням основного автоматичного вимикача QF1 і одночасно засікається секундоміром.

3) Записати час включення електронного осцилографа (usb-autoscope-3) по секундоміру.

4) Робота лампи, стеження за основними величинами, що знімаються, на екрані комп'ютера, до сталого режиму  $U_{CX}$ ,  $V_{el}$ ,  $I_L$ ,  $P_{CX}$  ( $P_{EL}=P_{CX}-P_{LL}$ ).

5) Надалі слідувати плану, по таблицях 4.5-4.7.

6) Після згасання лампи від'єднати щупи осцилографа (usb-autoscope-3) й вимкнути QF1.

*Послідовність фізичного експерименту з лампою типу ДНаТ-250:* (схожа і багато в чому аналогічна експерименту з лампою типу ДРЛ):

1) Подається напруга на схему включенням основного автоматичного вимикача QF1.

2) Встановити напругу  $U_{CX}$  на рівні номінальної напруги лампи  $U_n = 220$  В (за  $P_{V1}$ ) лабораторним автотрансформатором і здійснити запалення лампи EL1 (автоматичним вимикачем QF2 замкнути нульовий дріт ИЗУ) одночасно записавши час початку експерименту ( в спец. журнал) включити секундомір.

3) Відключення ИЗУ ( ключ в нульовому дроті) і підключення цифрового осцилографа ( 3 точки й загальний 0, тобто «0» т. 12, для вимірювання напруги на лампі т. 11, падіння напруги на шунті т.10, і зовнішня напруга т.1), записати час його включення по секундоміру.

4) Робота лампи, стеження за основними величинами, що знімаються (підтримуючи автотрансформатором  $U_{CX} = 220$ В) на екрані комп'ютера, до сталого режиму  $V_{CX}$ ,  $V_{el}$ ,  $I_L$ ,  $P_{CX}$  ( $P_{EL}=P_{CX}-P_{LL}$ ).

5) Надалі слідувати плану, по таблицях 4.5-4.7.

6) Після згасання лампи від'єднати щупи осцилографа (usb-autoscope-3) и вимкнути QF1.

## Висновки

Використання даного стенду дозволяє проводити дослідження РЛВТ в різних режимах експлуатації. Використання чіткого плану проведення робіт сприяє проведенню точних експериментальних вимірів. Особливістю даного стенду є використання сучасного електронного осцилографа. Що дозволяє проводити запис в реальному часі, в практично необмежено (тільки об'ємом жорсткого диска вашого ПК). Результати проведених досліджень на даному стенді використовуються при проведенні досліджень комплекту.



### Література

1. Справочная книга по светотехнике [Текст] / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
2. Краснопольский, А.Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп [Текст] / Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 207 с.
3. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники оптического излучения (обзор развития) [Текст] / Г.Н. Рохлин // Светотехника. – 1995. – №4. – С. 34 – 51.
4. Печегин, Ж.А. Светотехника [Текст] : Метод. указ. / Е.А. Печегин, Ж.А. Зарандия. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 32 с.
5. Афанасьева, Е.И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура [Текст]. / Е.И. Афанасьева, В.М. Скобелев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
6. Харченко, В.Ф. Модифицированная модель нестационарных режимов разрядной лампы высокого давления с индуктивным балластом [Текст]/ В.Ф. Харченко, А.А. Якунин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – №2. – С. 4 – 12.
7. Клыков, М. Е. Расчёты электрических цепей с разрядными лампами [Текст] / М.Е. Клыков, А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов // Светотехника. – 2002. – №2. – С. 2 – 4.
8. Володарский, Е.Т. Планирование и организация измерительного эксперимента [Текст] / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз. // К. Вища шк. Головное из-во 1987. – 280с.

9. Х. Шенк Теория инженерного эксперимента [Текст] / Шенк Х., перевод с англ.. Е.Г. Коваленко, под. ред. Н.П. Бусленко Изд. «Мир», Москва 1972, 386 с.
10. Anton, J. C. An Equivalent Conductance Model for High Intensity Discharge Lamps [Текст] / J. C. Anton, C. Blanco, F. Ferrero, P. Roldan, G. Zissis. // Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record. – 2002. – vol. 2. – №3. – P. 1494 - 1498.
11. Shvartsas, M. A SPICE Compatible Model of High Intensity Discharge Lamps [Текст] / M. Shvartsas, S. Ben-Yaakov // 30th IEEE power electronic specialists conference. Vol. 2. – № 1. – 1999. – P. 1037 - 1042.

**Автор:** ХАРЧЕНКО Віктор Федорович  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, д.т.н., професор.

**Автор:** ЯКУНІН Олександр Анатолійович  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, інженер.

**Автор:** ВОРОПАЙ Валентина Григоріївна  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, старший викладач.

### СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА И ПЛАНИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМПЛЕКТА «РАЗРЯДНАЯ ЛАМПА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ – ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЙ АППАРАТ»

В.Ф. Харченко, А.А. Якунин, В.Г. Воропай

С повышением стоимости носителей энергии, а вследствие – электроэнергии, повышается внимание к обеспечению ее экономного использования, то есть повышению эффективности ее использования и обеспечения соответствующего режима работы осветительных установок. В статье приведены этапы создания стенда исследования комплектов «разрядная лампа - пускорегулирующий аппарат», приведена схема стенда и принципиальные схемы включения ламп, также описаны серии экспериментов, и приведен план проведения эксперимента во времени.

Ключевые слова: разрядная лампа, стенд, эксперимент, планирование.

### THE EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCHES OF THE COMPLETE SET «HIGH PRESSURE LAMP-START-UP-CONTROLLING DEVICE» AND EXPERIMENT PLANNING.

V.F. Kharchenko, O.A. Yakunin, V.G. Voropay

Attention to economy of the electric power in all spheres of its use are raised. Now high pressure discharge lamps are one of the most widespread lamps by them high return (lumen/watt). Issue of a parameters definition of the necessary equipment taking into account electromagnetic compatibility and increase of efficiency of use of the electric power of high pressure lamps demand application of modern methods of research demand. It is possible to provide to carrying out of corresponding experiments with use of the newest measuring devices, for example, such as electronic oscillographs. The experimental stand of research of electrotechnical parameters of the complete set «high pressure discharge lamp - Start-up-controlling device» was developed. Stages of creation of the experimental stand, and also the scheme, with a designation of places of connection of measuring devices are described. The received well-founded plans of carrying out of experiments are resulted also. The stand was found for carrying out of experiments and reception of the exact data about behaviour of the basic characteristic sizes of a lamp on frequency 50 Hz.

Keywords: High pressure lamp, stand, experiment, planning.